

Г.П. КЛИМЕНКО, Я.В. ВАСИЛЬЧЕНКО, М.В. ШАПОВАЛОВ

КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СБОРНЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Повышение эффективности металлообработки, внедрение технологий материаловосбережений в машиностроении, повышение качества продукции невозможно без разработки научно обоснованного управления эксплуатацией режущего инструмента. Статья посвящена актуальной проблеме современного машиностроительного производства, для которого характерна тенденция внедрения режущих инструментов сборной конструкции. Особую важность вопроса качества эксплуатации инструмента приобретают для тяжелого машиностроения, представителем которого является ПрАТ НКМЗ. Представлен алгоритм комплексной оценки качества эксплуатации режущего инструмента. Новизной научных разработок статьи является квалиметрический подход к оценке качества и надежности сборных инструментов. На основе статистических данных о работе сборных инструментов в условиях завода, определены резервы повышения их качества эксплуатации. Показано, что характерным отказом фрезы является поломка пластины. Это приводит к повышенному расходу инструментального материала. Установлено, что с точки зрения надежности фреза представляет собой параллельную систему. В работе впервые получено математическую зависимость определения надежности сборных фрез, на базе которой разработаны рекомендации их рациональной эксплуатации. Предложен принцип формирования системы рациональной эксплуатации инструмента и разработана методология квалиметрических исследований системы, в соответствии с которой процесс эксплуатации инструмента рассматривается с позиции управления его качеством. Квалиметрический подход к оценке качества работы инструмента позволил разработать методы количественной оценки качества процесса и обосновать структуру свойств, составляющих качество эксплуатации инструмента. Результаты исследований использованы для разработки общемашиностроительных нормативов режимов резания на тяжелых станках.

Ключевые слова: качество, надежность, эксплуатация, режущий инструмент, твердый сплав, квалиметрия.

Г.П. КЛИМЕНКО, Я.В. ВАСИЛЬЧЕНКО, М.В. ШАПОВАЛОВ

ЯКІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗБІРНИХ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Підвищення ефективності металообробки, впровадження технологій матеріалосбереження в машинобудуванні, підвищення якості продукції неможливо без розробки науково обґрунтованого управління експлуатацією різального інструменту. Стаття присвячена актуальній проблемі сучасного машинобудівного виробництва, для якого характерна тенденція впровадження різальних інструментів збірної конструкції. Особливу важливість питання якості експлуатації інструменту набувають для важкого машинобудування, представником якого є ПрАТ НКМЗ. Представлений алгоритм комплексної оцінки якості експлуатації різального інструменту. Новизною наукових розробок статті є кваліметричний підхід до оцінки якості та надійності збірних інструментів. На основі статистичних даних про роботу збірних інструментів в умовах заводу, визначені резерви підвищення їх якості експлуатації. Показано, що характерною відмовою фрези є поломка пластини. Це призводить до підвищеної витрати інструментального матеріалу. Встановлено, що з точки зору надійності фреза являє собою паралельну систему. В роботі вперше отримано математичну залежність визначення надійності збірних фрез, на базі якої розроблено рекомендації їх раціональної експлуатації. Запропоновано принцип формування системи раціональної експлуатації інструменту і розроблена методологія кваліметричних досліджень системи, відповідно до якої процес експлуатації інструменту розглядається з позиції управління його якістю. Кваліметричний підхід до оцінки якості роботи інструменту дозволив розробити методи кількісної оцінки якості процесу і обґрунтувати структуру властивостей, які складають якість експлуатації інструменту. Результати досліджень використані для розробки загальномашинобудівних нормативів режимів різання на важких верстатах.

Ключові слова: якість, надійність, експлуатація, різальний інструмент, твердий сплав, кваліметрія.

G. P. KLYMENKO, Y. V. VASILCHENKO, M. V. SHAPOVALOV

QUALITY AND RELIABILITY OF OPERATION OF ASSEMBLY OF SOLID-MOLDING TOOLS

Improving the efficiency of metalworking, the introduction of materials-saving technologies in engineering, improving product quality is impossible without the development of scientifically-based management of the operation of the cutting tool. The article is devoted to the actual problem of modern engineering production, which is characterized by the tendency to introduce cutting tools of a composite construction. Of particular importance is the quality of operation of the tool acquired for heavy engineering, whose representative is PrAT NKMZ. An algorithm for a comprehensive assessment of the quality of operation of the cutting tool is presented. The novelty of the scientific development of the article is a qualimetric approach to assessing the quality and reliability of prefabricated tools. On the basis of statistical data on the operation of prefabricated tools in the conditions of the plant, the reserves for improving their quality of operation are determined. It is shown that the characteristic failure of the cutter is a plate failure. This leads to increased consumption of tool material. It has been established that, from the point of view of reliability, the mill is a parallel system. In this paper, for the first time, a mathematical relationship was obtained to determine the reliability of modular milling cutters, on the basis of which recommendations for their rational exploitation were developed. The principle of forming a rational tool operation system is proposed and a methodology for qualimetric research of the system is developed, in accordance with which the tool operation process is considered from the standpoint of its quality management. The qualimetric approach to assessing the quality of the instrument operation has allowed us to develop methods for quantifying the quality of the process and substantiate the structure of the properties that make up the instrument operation quality. The research results were used to develop general engineering standards for cutting conditions on heavy machines.

Keywords: quality, reliability, operation, cutting tools, hard alloy, qualimetry.

Введение. Исследования уровня эксплуатации инструмента можно проводить с помощью квалиметрии – науке о качестве. Процесс эксплуатации режущего инструмента можно рассматривать как объект с точки зрения его качества. А уровень эксплуатации режущего инструмента – как количественную характеристику качества процесса эксплуатации, его оценку.

Под количественной оценкой качества в квалиметрии понимается некоторая функция отношения показателя качества рассматриваемого объекта к показателю качества объекта, принятого за эталон (или базу). Оценка, таким образом, это относительная безразмерная величина [1, 2].

Материалы исследований. Для построения и успешного функционирования систем управления

© Г.П. Клименко, Я.В. Васильченко, М.В. Шаповалов, 2018

качеством механообработки деталей необходима точная информация о качестве не только производимой продукции, но и качестве процессов, способствующих ее выпуску, среди которых одним из важных является процесс эксплуатации режущих инструментов.

Одним из важных этапов оценки качества режущего инструмента и процесса его эксплуатации является выбор и обоснование метода оценки, среди которых наибольшее распространение получили следующие: дифференциальный метод, метод комплексной оценки, смешанный метод оценки, метод интегральной оценки, статистические методы оценки, метод экспертной оценки, метод оценки качества разнородной продукции [3].

Для выбора лучшего из возможных вариантов конструкции инструментов уже на стадии предпроектного анализа применяется комплексный метод оценки качества режущего инструмента:

$$K = \sum_{n=1}^N (q \cdot K_B),$$

где K - уровень качества режущего инструмента;

$q = (a / A)$ – отношение значений N параметров оцениваемого (a) и базового (A) режущего инструмента;

K_B – коэффициенты весомости каждого из рассматриваемых параметров.

Для выбора наилучшего варианта по результатам испытаний опытных образцов инструментов ими рекомендуется также использовать метод оценки по упрощенной целевой функции (например, по производительности процесса резания или по обратной ей величине - основному времени).

$$K = 1 + \sum_{N=1}^N [(q - 1) \cdot \gamma]$$

При расчете коэффициентов весомости, в том числе и при учете качества изготовления продукции, могут быть два основных методических подхода: первый базируется на исследовании статистических данных, а второй предполагает индивидуальный анализ эффекта у потребителя. При этом первый учитывает стихийно сложившиеся предпочтения, второй - результаты объективного анализа.

Первый из них состоит в том, что берется определенный массив параметров однородных инструментов и обобщенные оценки потребителем их качества и методом регрессионного анализа находятся коэффициенты весомости. В качестве показателя полезности, ценности товара наиболее целесообразно использовать цены на международном рынке. Этот метод назван методом ценовых корреляций.

Суть второго метода состоит в том, что рассматривается базовый образец и условно принимаются изменения каждого параметра, и затем проводится подробный социально-экономический анализ изменения полезности инструмента для его потребителя. Этот метод назван методом социально-экономического анализа. Этот метод предполагает дифференцированный анализ полезности инструмента для потребителя.

Уровень качества K рассчитывается через проявившийся от этого изменения параметра эффект (Ξ) у потребителя относительно базовой цены C_6 . Этот эффект должен быть интегральным ($\Xi_{\text{инт}}$) за весь срок службы (ресурс):

$$K = 1 + \frac{\Xi_{\text{инт}}}{C_6}$$

Цель работы – повышение эффективности использования сборного твердосплавного инструмента в условиях завода тяжелого машиностроения.

Согласно основным принципам квалиметрии для оценки качества эксплуатации режущего инструмента составлялась иерархическая схема всех наиболее важных свойств, характеризующих процесс эксплуатации [4, 5].

Качество эксплуатации как комплексное свойство эксплуатации рассматривается на самом высоком нулевом уровне иерархической схемы, а составляющие его - ниже, обобщенные свойства на более высоком уровне структуры. В свою очередь каждое свойство первого уровня состоит из некоторого числа менее общих свойств, лежащих на еще более высоком втором уровне рассмотрения и т.д. Совокупность технических свойств, составляющих качество эксплуатации инструмента, представлялось в виде иерархической структуры так, что каждое свойство j -го уровня рассмотрения определяется свойствами $j + 1$ уровня. Структурная схема строилась вплоть до простых свойств, то есть до свойств, которые далее не могут быть разложены, или до свойств, которые достаточно просто оцениваются. В последнем случае свойства, лежащие на самом высоком уровне, можно назвать условно-простыми.

Структура свойств или оценки качества предварительно разрабатывалась рабочей группой, а затем оценивалась экспертно для условий завода ПрАТ НКМЗ.

На основании результатов экспертной оценки уточнялась номенклатура свойств, составляющих качество. На рис.1 представлен алгоритм комплексной оценки качества эксплуатации режущего инструмента.

Качество эксплуатации режущего инструмента на 1-ом уровне рассмотрения определяется 3-мя группами свойств: техническими свойствами, связанными с обработкой, которые проявляются непосредственно в процессе обработки деталей резанием, а также свойствами обслуживания и организационными свойствами.

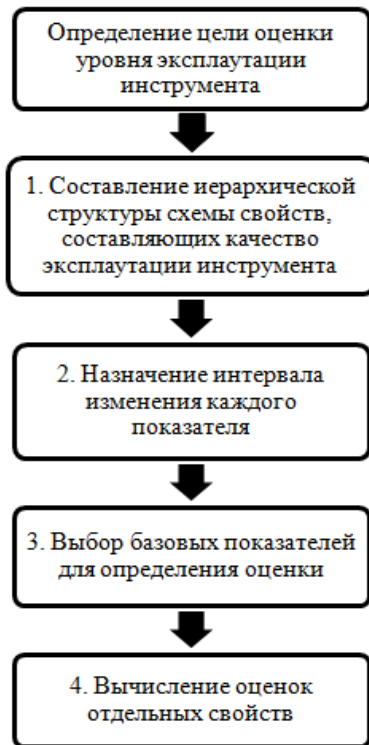
K техническим свойствам на 2-ом уровне рассмотрения отнесены качество технологической дисциплины и технологической подготовки. Первое свойство характеризуется соответствием заготовок, оборудования, инструмента, СОЖ, режимов резания и норм износа, требованиями нормативно-технической документации. Второе свойство определяется прогрессивностью используемых заготовок, оборудования, инструментов, СОЖ, техпроцессов.

Свойства обслуживания на 2-ом уровне рассмотрения определяются качеством восстановления (заточки и ремонта) и другими свойствами

обслуживания (обеспеченностью режущим инструментом, качеством транспортирования и хранения) [6, 7].

Первый этап.

Оценка единичных свойств процесса эксплуатации



Второй этап.

Оценка сложных свойств процесса эксплуатации и его качества в целом

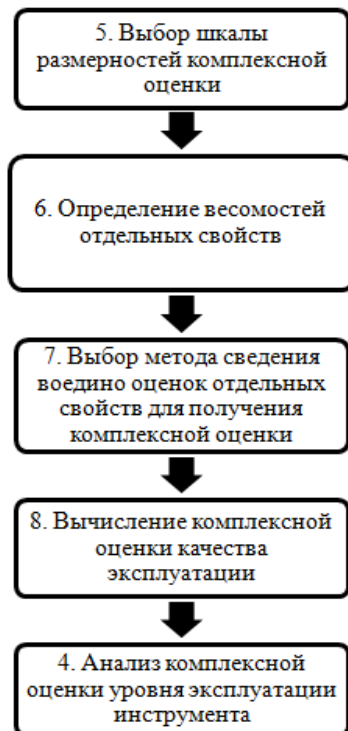


Рис. 1 – Алгоритм комплексной оценки уровня качества эксплуатации режущего инструмента

К организационным свойствам на более низком

уровне рассмотрения относятся проверка соответствия инструмента ГОСТам и ТУ, сдаче отходов, технадзор, централизованность производства инструментов. Они определяют организационные мероприятия по повышению качеству эксплуатации инструмента.

Каждое свойство 4-го уровня может быть разложено на свойства еще более низкого уровня, например: качество заготовок характеризуется припуском, твердостью, дефектами поверхности; состояния оборудования - жесткостью, точностью, виброустойчивостью и т.д.

Анализ свойств, составляющих качество эксплуатации инструмента в условиях ПрАТ НКМЗ, показал, что наиболее важными свойствами сборного инструмента являются: правильность выбора режимов резания и конструкций инструмента, качество заготовок, шероховатость поверхности, надежность инструмента.

При разработке технологических процессов в условиях завода часто даны неправильные рекомендации по выбору конструкций инструментов и особенно марок инструментальных материалов. Частично эти ошибки корректируются рабочими в процессе эксплуатации инструментов. Режимы резания при обработке на станках превышают нормативные значения на величину от 20 до 90%, что также приводит к значительному ухудшению качества обрабатываемой поверхности.

На основании статистических данных получена регрессионная зависимость фактической шероховатости Ra_{ϕ} от фактической подачи S_{ϕ} (рис.2):

$$Ra_{\phi} = 10,477S_{\phi}^{1,57}$$

В заводских нормативах отсутствуют рекомендации по рациональной эксплуатации сборных инструментов. Для повышения качества эксплуатации инструмента необходимо внедрять в производство новое металлорежущее оборудование и организовывать участок централизованной заточки режущего инструмента.

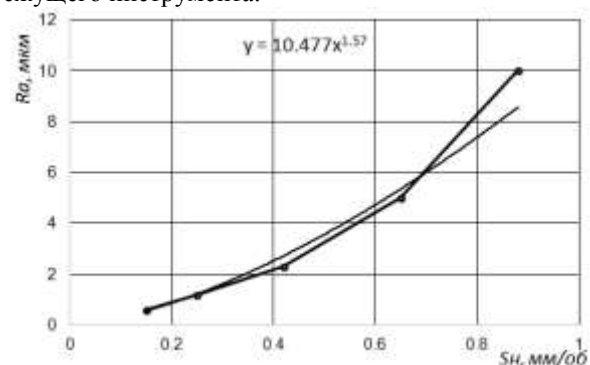


Рис. 2 – Зависимость фактических параметров шероховатости Ra_{ϕ} от S_{ϕ} подачи

Качество заготовок обследовалось по результатам моментных наблюдений. Припуски превышают предусмотренные на 20% и более. 10% заготовок соответствует требованиям, предъявляемым к ним. Завышенные припуски приводят к излишнему расходу материала, возрастанию трудоемкости механической обработки, повышению эксплуатационных расходов

станочной обработки (расход инструмента, электроэнергии и др.). Недостаточные припуски могут препятствовать исправлению погрешностей от предшествующей обработки и получению необходимой точности и шероховатости обработанной поверхности на выполняемом переходе. СОЖ на заводе применяется во всех случаях, где она требуется.

При работе инструментом из быстрорежущей стали используется эмульсон – 70%, твердосплавным инструментом – 30%, сульфозрезол используется при работе твердосплавным и быстрорежущим инструментом на глубокорасточных станках, СОЖ не применяется при обработке твердосплавным инструментом на тяжелых токарных станках с высотой центров 600 мм и выше, долбежных и строгальных станках в связи с отсутствием систем охлаждения, при фрезеровании твердосплавными торцовыми фрезами.

Уровень качества заточки оценивался по проценту централизованной заточки.

Из обследованного инструмента у 70% инструмента выбор геометрических параметров, инструментального материала соответствуют нормативам. Правильность выбора режимов резания производилось с учетом приведения фактических режимов к нормативным.

Наиболее важным свойством качества эксплуатации инструмента является его надежность. Представляет интерес рассмотрение надежности многолезвийных инструментов на примере фрез.

Анализ статистических данных о работе фрез сборной конструкции в условиях ПрАТ НКМЗ показал, что при фрезеровании наблюдается одновременное участие в работе нескольких режущих зубьев.

Статистический анализ работы фрез с $z=4$ при обработке стали 9ХС с глубиной резания $t=4...6$ мм, подачей $S=0,12...0,15$ мм/зуб и скоростью резания $V=62,8$ м/мин показал, что чаще всего фреза снимается со станка при выходе из строя всех 4х зубьев. Такая эксплуатация фрез приводит к повышенному расходу инструментальных материалов. Характерным отказом пластин фрезы является их поломка, а не достижение критерия затупления пластины. Статистический анализ показал, что закон распределения стойкости фрез – экспоненциальный [8].

При рассмотрении сборной фрезы как системы режущих элементов, в которой отказ одного из них не приводит к полному отказу фрезы, с точки зрения надежности фреза представляет собой параллельную систему с пассивным резервом. В этом случае, при отказе первой режущей пластины её нагрузку при резании воспринимает следующая за ней режущая пластина. При этом надежность фрезы в целом снижается, то есть уменьшается вероятность безотказной работы. Для сборной концевой фрезы, имеющей два зуба, средний период стойкости определяется:

$$T_{фр} = \int_0^{\infty} P_{фр} dt = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

В случае если $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, то надежность фрезы определяется:

$$P_{фр} = 2e^{-\lambda_1 t} - e^{-2\lambda_2 t}; T = \frac{3}{2\lambda}$$

Сборные концевые твердосплавные фрезы имеют $z=2, 3, 4$. Формулы для расчета вероятности безотказной работы каждой фрезы получены аналогично перемножением вероятности двучленов.

Для сборной концевой фрезы, имеющей три зуба:

$$P_{фр} = P^3 + 3P - 3P^2$$

При экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы каждого зуба фрезы получаем:

$$P_{фр} = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

где λ_1 и λ_2 – интенсивность отказов зубьев фрезы.

Для сборной концевой фрезы, имеющей четыре зуба:

$$P_{фр} = 4P + 4P^3 - 6P^2 - P^4$$

При экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы каждого зуба фрезы получаем:

$$P_{фр} = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} + e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

где λ_1 и λ_2 – интенсивность отказов зубьев фрезы.

Для определения стратегии замены отказавших режущих элементов фрез введем понятие кратности резервирования k .

$$k = \frac{Z - Z_m}{Z_m}$$

где: Z – число зубьев фрезы,

Z_m – число отказавших зубьев.

Зависимости $P_{фр}(t)$ при резервировании с различной кратностью приведены в таблице 1.

Целесообразный уровень надежности фрезы определяется минимумом суммарных затрат на эксплуатацию инструмента и на его покупку. В зависимости от необходимого уровня надежности фрезы выбирается стратегия замены её режущих элементов.

Повышение надежности путем замены одного зуба приводит к недоиспользованию фрезы, повышению суммарных затрат. Наиболее целесообразно с точки зрения рационального уровня надежности для фрезы с $Z=4$ снимать её со станка при выходе из строя 2-х зубьев.

Для получения информации об условиях обработки деталей сборными концевыми фрезами, режимов резания, стойкости режущих пластин и видов их отказов был осуществлен сбор статистических данных в условиях ПрАТ НКМЗ.

Обработка корпусной детали из сплава 9ХС осуществлялась сборными концевыми фрезами $Z=4$ с пластинами из твердого сплава Т5К10 на станке модели Ferrari A 17 – Е 550.

Для испытаний выбрана партия пластин $N=16$ штук. В таблице 2 приведены условия испытаний.

Целью испытаний пластины было установление закона распределения их наработки на отказ (периода стойкости), представленный в графическом виде на рисунке 3.

Таблица 1 – Выбор стратегии замены пластин фрезы

Число фрезы	зубьев	Кратность резервирова ния	Вероятность безотказной работы фрезы			
			Стратегия замены зубьев	λt		
				0,5	0,75	1
$Z=2$		1/1	После отказа 1-го зуба	0,7301	0,8431	0,6005
$Z=3$		1/2	После отказа 2-х зубьев	0,5243	0,6575	0,3063
		2/1	После отказа 1-го зуба	0,6721	0,8288	0,4683
$Z=4$		1/3	После отказа 1-го зуба	0,3741	0,4862	0,1443
		2/2	После отказа 2-х зубьев	0,6734	0,8288	0,4683
		3/1	После отказа 1-го зуба	0,9203	0,9757	0,8407

Таблица 2 – Условия испытаний сборных концевых фрез

Модель станка	Обрабатываемый материал	Режущая пластина		Характер припуска	Сечение среза		Скорость резания V, м/мин
		Размер, мм	Материал		t, мм	S, мм/об	
Ferrari A 17 – E 550	Сталь 9 ХС	l=17, d=9,525 s=4,76	T5K10	Непрерывный	6	0,15	62,8

Инструмент работает до отказа, которым может быть износ, выкрашивание, поломка режущей пластины.

Выбирается критерий затупления, который использует рабочий при обработке аналогичных деталей. (искрение, вибрации и др.). При испытаниях было принято, что износ по задней поверхности не должен превышать $h=1,6$ мм.

При испытаниях фиксировались следующие величины: характеристика станка и обрабатываемой заготовки, режимы резания, вид отказа, период стойкости, размеры износа и разрушение твердосплавной пластины.

Установлено, что закон распределения наработки на отказ не противоречит экспоненциальному.

Наибольшую твердость, износостойкость, красностойкость имеют сменные неперетачиваемые пластины «Seco» марки TP1000.

Фирмой «Sandvik Coromant» для чистовой обработки углеродистых и низколегированных сталей производятся твердосплавные пластины с покрытиями марок GC4020, GC1025.

Фирмой «Pramet» производятся твердосплавные пластины серии 6000 и 8000, для чистовой обработки сталей могут применяться сплавы 6620 и 8816.

На основании анализа областей применения и рекомендованных производителями условий эксплуатации режущих пластин можно определить аналоги твердых сплавов, позволяющие выполнять высокопроизводительное чистовое фрезерование углеродистых и низколегированных сталей.

Таблица 3 – Сравнительная таблица областей применения сменных неперетачиваемых пластин зарубежных производителей

Фирма производитель	Марки сплавов	
Seco	TP1000/TP2000	CP200
Sandvik Coromant	GC 4020	GC 1025
Pramet	6620	8016

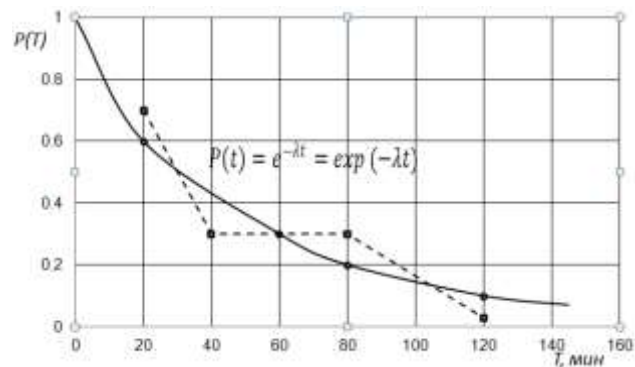


Рис. 3 – График зависимости надежности сборных фрез от периода их стойкости T

Проведенный анализ условий эксплуатации режущего инструмента при чистовом фрезеровании углеродистых и низколегированных сталей позволил определить параметры инструментального материала, обеспечивающие качественный поверхностный слой, высокую геометрическую точность, могут эксплуатироваться на высоких скоростях резания. Высокой твердостью, износостойкостью, температуростойкостью, теплопроводностью обладают двухкарбидные твердые сплавы марок T30K4, T60K6, T14K8, T15K6. Среди сплавов производства фирм «Seco», «Sandvik Coromant», «Pramet» для чистового фрезерования целесообразно применять сплавы марок TP1000, TP2000, CP200, GC4020, GC1025, 6620, 8016.

Выводы. 1. Разработана система свойств, составляющих качество эксплуатации инструмента для условий завода ПрАТ НКМЗ с применением кваліметричного підходу.

2. Установлено, что наиболее важными свойствами качества эксплуатации сборного инструмента являются: правильность выбора режимов резания и конструкций инструмента, качество заготовок, шероховатость поверхности, надежность инструмента.

3. Показано, что отклонение подачи от нормативной существенно влияет на качество поверхности в соответствии с полученной зависимостью, связывающей подачу с уровнем шероховатости поверхности.

4. Уровень надежности сборной фрезы, определенный по критерию суммарных, обеспечивается стратегией, регламентированной заменой режущих пластин.

5. Для повышения надежности фрез сборной конструкции рекомендуется: применение износостойких покрытий, регламентированная замена инструмента, применять твердые сплавы марок TP1000, TP2000 фирмы «Seco», GC4020, GC1025 фирмы «Sandvik Coromant», 6620, 8016 фирмы «Pramet».

Список литературы

1. Клименко Г.П. Надежность сборных инструментов и процесса их обслуживания на тяжелых токарных станках. *Надійшла інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. статей.* Краматорськ: ДДМА, 2001. Вип. 10. с. 13-18.
2. Клименко Г.П., Андронов А.Ю. Повышение надежности технологической системы при механообработке на тяжелых токарных станках. *Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наукових праць.* Харків: НТУ «ХПІ», 2009. Вип. 3. с. 42-49.
3. Клименко Г.П. Обеспечение оптимального уровня надежности твердосплавных резцов для тяжелых станков. *Высокие технологии в машиностроении.* Харьков: ХГПУ, 1999. с. 48-49.
4. Клименко Г.П. Керування раціональною експлуатацією інструменту на важких верстатах. *Високі технології в машинобудуванні: Зб. наукових праць.* Харків: НТУ «ХПІ», 2003. Вип. 1(6). с. 59-64.
5. Klymenko G.P., Vasilchenko Y.V., Subotin O.V. Strategies on quality in heavy machinbulding metalworking. *Strategy of Quality in industry and Education.* Vol.1. Днепр - Варна, 2018. с. 84-89.
6. Клименко Г.П., Я.В. Васильченко. Определение надежности обслуживания режущего инструмента. *Високі технології в машинобудуванні: Зб. наукових праць.* Харків: ХГПУ, 2000. с. 134-137.
7. Клименко Г.П. Технологічне управління якістю експлуатації інструменту для важких верстатів. *Современные вопросы*

производства и ремонта в промышленности и на транспорте. Брно - Киев: АТМ України, 2018. с. 97-100.

8. Клименко Г.П., Хоменко, К.С. Чабан. Определение надежности концевых фрез сборной конструкции. *Надійшла інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. статей.* Краматорськ, ДДМА, 2010. Вип. 26. с. 63-67.

References (transliterated)

1. Klymenko G.P. Nadezhnost sborniyh instrumentov i protsessa ih obsluzhivaniya na tyazhelyih tokarnyih stankah. [Reliability of prefabricated tools and the process of their maintenance on heavy lathes] *Nadiynist rizalnogo instrumentu ta optimizatsiya tehnologichnih sistem. Zb. statey.* [Reliability of the cutting tool and optimization of technological systems. Sat. articles]. Kramatorsk: DDMA Publ., 2001, Vol. 26, pp. 13-18.
2. Klymenko G.P., Andronov A.Yu. Povyishenie nadezhnosti tehnologicheskoy sistemy pri mehanooobrabotke na tyazhelyih tokarnyih stankah. [Improving the reliability of the technological system during machining on heavy lathes]. *Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. Naukovih prats.* [Modern technologies in mechanical engineering: Sat. sci. tr.]. Kharkov: NTU "KhPI" Publ., 2009, Vol. 3. pp. 42-49.
3. Klymenko G.P. Obespechenie optimalnogo urovnya nadezhnosti tverdospavnyih reztsov dlya tyazhelyih stankov. [Providing the optimum level of reliability for carbide cutters for heavy machine tools] *Vysokie tehnologii v mashinostroenii.* [High technology in mechanical engineering]. Kharkov: HGPU Publ., 1999, pp. 48-49.
4. Klymenko G.P. Keruvannya ratsionalnoyu ekspluatatsiyeu instrumentu na vazhkih verstatah. [Management of rational operation of the tool on heavy machine tools]. *Visokie tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. naukovih prats.* [Modern technologies in mechanical engineering: Sat. sci. tr.]. Kharkov: NTU "KhPI" Publ., 2003, Vol. 1(6). pp. 59-64.
5. Klymenko G.P., Vasilchenko Y.V., Subotin O.V. Strategics on quality in heavy machinbulding metalworking. *Strategy of Quality in industry and Education.* vol.1. Dnepr-Varna Publ., 2018, pp. 84-89.
6. Klymenko G.P., Ya.V. Vasilchenko. Opredelenie nadezhnosti obsluzhivaniya rezhushego instrumenta. [Determination of the reliability of service cutting tools]. *Visokie tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. naukovih prats.* [Modern technologies in mechanical engineering: Sat. sci. tr.]. Kharkov: HGPU Publ., 2000, pp. 134-137.
7. Klymenko G.P. Tehnologichne upravlinnya yaklstyu ekspluatatsiyeu instrumentu dlya vazhkih verstatlv. [Technological quality management of the tool for heavy machine tools]. *Sovremennyye voprosy proizvodstva i remonta v promyshlennosti i na transporte.* [Modern issues of production and repair in industry and transport]. Brno - Kiev: ATM Ukraina Publ., 2018, pp. 97-100.
8. Klymenko G.P., Homenko, K.S. Chaban. Opredelenie nadezhnosti kontsevyih frez sbornoy konstruktssii. [Determination of the reliability of end mills assembly team]. *Nadiynist instrumentu ta optimizatsiya tehnologichnih sistem.* [Reliability of the cutting tool and optimization of technological systems. Sat. articles]. Kramatorsk: DDMA Publ., 2010, Vol. 26. pp. 63-67.

Поступила (received) 30.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Клименко Галина Петрівна (Клименко Галина Петровна, Klymenko Galina Petrovna) – доктор технічних наук, професор кафедри «Комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технологій», Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна, тел.: (050) 219-85-11, e-mail: wasilchenko.ua@gmail.com.

Васильченко Яна Василівна (Васильченко Яна Васильевна, Vasilchenko Yana Vasilievna) – доктор технічних наук, доцент, заведуючий кафедри «Комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технологій», Донбасская государственная машиностроительная академия, м. Краматорськ, Україна, тел.: (050) 814-77-30, e-mail: wasilchenko.ua@gmail.com.

Шаповалов Максим Валерійович (Шаповалов Максим Валериевич, Shapovalov Maxim Valerievich) – асистент кафедри «Комп'ютеризованих мехатронних систем, інструментів та технологій», Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна, тел.: (066) 336 08 08; e mail: harleymax1979@gmail.com.